



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 09330350

(43)Date of publication of application: 22.12.1997

(51)Int.Cl.

G06F 17/50

G06F 3/14

H01L 21/82

(21)Application number: 08152151

(71)Applicant:

TOSHIBA CORP

(22)Date of filing: 13.06.1996

(72)Inventor:

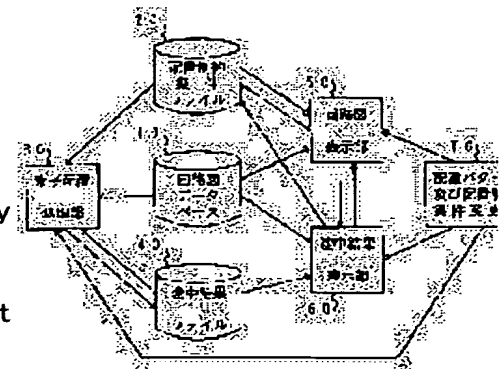
HANDA KEIICHI

(54) DEVICE AND METHOD FOR ELEMENT ARRANGEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to search for a solution candidate of high adaptivity and obtain an arrangement result of good quality in a shorter time, by making a user intervene interactively midway, and making the search capability of algorithm, etc., and user's experiential knowledge or judgement ability act to each other.

SOLUTION: An element arrangement processing part 30 inputs information obtained from a circuit diagram data base 10 and an arrangement restriction condition file 20 as input data, and determines the arrangement coordinates of elements by using genetic algorithm. A halfway result display part 40 displays the halfway result of the element arrangement processing part 30 based on the information held in the circuit diagram data base 10 and halfway result life 40. Further, an arrangement pattern and arrangement restriction condition modification part 70 changes relative arrangement places of an element or element group or changes restriction conditions regarding the arrangement. Then an operator instructs a display of the halfway result and the temporary stop of the genetic algorithm over a look at the screen of a circuit diagram display part 50, etc.



LEGAL STATUS

E4948

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-330350

(43) 公開日 平成9年(1997)12月22日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 17/50			G 0 6 F 15/60	6 5 8 C
3/14	3 4 0		3/14	3 4 0 A
H 0 1 L 21/82			H 0 1 L 21/82	C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平8-152151

(22) 出願日 平成8年(1996)6月13日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 半田 恵一

神奈川県川崎市幸区柳町70番地 株式会社
東芝柳町工場内

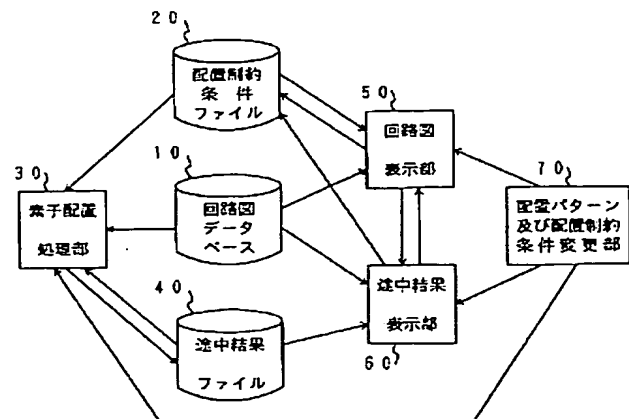
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 要素配置装置及び要素配置方法

(57) 【要約】

【課題】 LSI の要素配置設計の際、高品質の要素配置結果を得るようにする。

【解決手段】 回路図上で指定された配置に関する制約条件を利用し要素配置座標決定操作を施すことにより前記回路に含まれる要素の配置座標を決定して種々の解候補を求めるアルゴリズム乃至ヒューリスティックスを用いた要素配置手段30、逐次取得される解候補集合中の良好解の配置パターンを所要時間間隔で画面上に表示する途中結果表示手段60、この途中結果表示及び解候補取得処理の実行を一時的に停止させ、前記画面上に表示された途中結果の配置パターンを参照して要素又は要素群の相対的配置場所の変更指示や配置に関する制約条件の設定変更指示を施すことによりこれらを変更または確定する配置パターン配置制約条件変更手段70、前記変更又は確定された部分的な配置場所及び制約条件を反映させ再度前記解候補取得処理を継続実行する要素配置継続手段を具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の要素にて構成されるパターン図上の各要素を最適配置するための要素配置装置において、前記パターン図に対して指定された配置に関する制約条件に基づいて、要素配置座標決定操作を施すことにより、前記パターン図に含まれる要素の配置座標を決定して解候補を生成する要素配置手段と、前記素子配置手段によって漸次生成される解候補集合のうちの所定の良好解のパターン図を、所望のタイミングで画面上に表示する途中結果表示手段と、前記途中結果表示手段の実行結果に基づいて、前記画面上に表示された配置の途中結果に対し、所定の変更指示を与える変更指示手段と、を具備することを特徴とする要素配置装置。

【請求項2】 複数の要素にて構成されるパターン図上の各要素を最適配置するための要素配置装置において、前記パターン図に対して指定された配置に関する制約条件に基づいて、要素配置座標決定操作を施すことにより、前記パターン図に含まれる要素の配置座標を決定して解候補を求める要素配置手段と、前記パターン図を画面上に表示するパターン図表示手段と、前記素子配置手段によって漸次生成される解候補集合の中から、所定の条件に従って所定の良好解に対するパターン図を選択する良好解選択手段と、前記良好解選択手段によって選択されたパターン図を表示するために、前記パターン図表示手段を実行する途中経過表示手段と、前記途中結果表示手段に表示されたパターン図に対して、所定の変更指示を与える変更指示手段と、を具備することを特徴とする要素配置装置。

【請求項3】 前記要素配置装置は、前記変更指示手段によって与えられた前記パターン図に対して、再度、要素配置手段を実行する変更反映手段をさらに具備することを特徴とする請求項1又は2記載の要素配置装置。

【請求項4】 前記変更指示手段は、前記パターン図表示手段に表示されたパターン図における所定の要素間の位置関係を変更し、前記画面上の要素間に関連を意味付ける指示操作により前記制約条件を変更することを特徴とする請求項1乃至3記載の要素配置装置。

【請求項5】 前記素子配置手段は、前記求められた解候補に関する情報を一時的に保存し、前記変更反映手段は、再度、素子配置手段を実行するに際し、前記一時保存された解候補に関する情報を次期解候補を求めるための情報として利用することを特徴とする請求項3又は4記載の要素配置装置。

【請求項6】 前記途中結果表示手段は、過去に表示した配置途中結果を保持し、該過去に表示さ

れた配置途中結果を再表示する機能を有し、前記変更指示手段は、前記過去に表示された配置途中結果に対して、前記所定の変更指示を与え、前記変更反映手段は、前記変更指示手段によって与えられた前記パターン図に対して、再度、要素配置手段を実行することを特徴とする請求項3記載の要素配置装置。

【請求項7】 前記要素配置装置において、互いに連係する第1の表示部と第2の表示部とを有し、前記配置に関する制約条件は、前記少なくともいずれか一方の表示部に、視覚的に識別可能に表示することを特徴とする請求項1乃至6記載の要素配置装置。

【請求項8】 複数の要素にて構成されるパターン図上の各要素を最適配置するための要素配置方法において、前記パターン図に対して指定された配置に関する制約条件に基づいて、要素配置座標決定操作を施すことにより、前記パターン図に含まれる要素の配置座標を決定して解候補を生成する要素配置ステップと、前記素子配置ステップによって漸次生成される解候補集合のうちの所定の良好解のパターン図を、所望のタイミングで画面上に表示する途中結果表示ステップと、前記途中結果表示ステップの実行結果に基づいて、前記画面上に表示された配置の途中結果に対し、所定の変更指示を与える変更指示ステップと、を具備することを特徴とする要素配置方法。

【請求項9】 複数の要素にて構成されるパターン図上の各要素を最適配置するための要素配置方法において、前記パターン図に対して指定された配置に関する制約条件に基づいて、要素配置座標決定操作を施すことにより、前記パターン図に含まれる要素の配置座標を決定して解候補を求める要素配置ステップと、前記パターン図を画面上に表示するパターン図表示ステップと、前記素子配置ステップによって漸次生成される解候補集合の中から、所定の条件に従って所定の良好解に対するパターン図を選択する良好解選択ステップと、前記良好解選択ステップによって選択されたパターン図を表示するために、前記パターン図表示ステップを実行する途中経過表示ステップと、前記途中結果表示ステップに表示されたパターン図に対して、所定の変更指示を与える変更指示ステップと、を具備することを特徴とする要素配置方法。

【請求項10】 前記要素配置方法は、前記変更指示ステップによって与えられた前記パターン図に対して、再度、要素配置ステップを実行する変更反映ステップをさらに具備することを特徴とする請求項8又は9記載の要素配置方法。

【請求項11】 前記変更指示ステップは、前記パターン図表示ステップに表示されたパターン図に

おける所定の要素間の位置関係を変更し、前記画面上の要素間に関連を意味付ける指示操作により前記制約条件を変更することを特徴とする請求項8乃至10記載の要素配置方法。

【請求項12】 前記素子配置ステップは、前記求められた解候補に関する情報を一時的に保存し、前記変更反映ステップは、再度、素子配置ステップを実行するに際し、前記一時保存された解候補に関する情報を次期解候補を求めるための情報として利用することを特徴とする請求項10又は11記載の要素配置方法。

【請求項13】 前記途中結果表示ステップは、過去に表示した配置途中結果を保持し、該過去に表示された配置途中結果を再表示する機能を有し、前記変更指示ステップは、前記過去に表示された配置途中結果に対して、前記所定の変更指示を与え、前記変更反映ステップは、前記変更指示ステップによって与えられた前記パターン図に対して、再度、要素配置ステップを実行することを特徴とする請求項10記載の要素配置方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、LSIなどの素子レイアウトを、回路素子情報を入力することによって、自動的に行う技術に関わり、特に複数の素子から構成される回路を所定実装面積内にレイアウトするにあたり、回路図上の素子の相対的な位置関係を反映するように素子を配置することができるようにした要素配置装置及び要素配置方法に関する。

【0002】

【従来の技術】LSI（大規模半導体集積回路）等の設計において、回路図（スキマティック）上の各素子の位置関係や配置に関する素子間の制約条件を反映した、面積最小の素子レイアウトを与えることは非常に重要なポイントである。

【0003】このような素子レイアウトは、従来手作業で行っており、手作業による素子配置はそのような高密度配置を実現するものの、それには熟練と多くの作業時間が必要となる。

【0004】そこで近年、短時間で最適あるいは近似最適な素子配置を自動的に行えるようにすべく、自動素子配置システムの研究開発が活発に行われており、その成果としてシミュレーティッド・アニーリング法、遺伝的アルゴリズム等を用いた種々の自動素子配置方法が提案されている。

【0005】例えば、シミュレーティッド・アニーリング法を応用した自動配置の手順は「佐々木、諏佐、“アナログ・セル生成における素子配置方法”、電子情報通信学会技術研究報告、VLD90-94、1990年」において開示されており、遺伝的アルゴリズムを応用し

た自動配置手法は「半田、本位田、“遺伝的アルゴリズムによる素子の整列配置”、電気学会論文誌C、Vol. 115、No. 4、1995年」、あるいは「Handa & Kuga, “Polycell placement for analog LSI chip designs by genetic algorithms and tabu search”, Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp. 716-721, 1995年」において提案されているといった具合である。

【0006】ここで遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化あるいは遺伝のメカニズムに着想を得て提案された確率的な近似探索の1手法であり、初期解候補群の生成後、各解候補の適応度の評価、及び次期解候補群を生成するための選択・交叉・突然変異等の操作によって、新しく解候補群を逐次的に生成／評価して、より適応度の高い解候補を探索していくアルゴリズムとして知られているものである。

【0007】遺伝的アルゴリズムに関する参考文献としては、例えば、「伊庭、“遺伝的アルゴリズムの基礎”、オーム社、1994年」、あるいは「Michalewicz, Z., “Genetic algorithms + data structures = evolution programs”, Second edition, Springer-Verlag, 1994年」等がある。

【0008】遺伝的アルゴリズムは、進化と遺伝のメカニズムを取り入れて適応度の高い解候補群を逐次的に生成し、評価してより適応度の高い解候補を探索していくアルゴリズムであるから最良の解に辿り着ける可能性の高い手法と云える。

【0009】しかし、LSI等における素子配置、とりわけアナログLSIにおける素子配置は、大きさが様々な多くの素子を、電気的特性に関する厳しい制約のもとで、可能な限り小さな領域にコンパクトに配置するという、問題本来が持つ難しさ故に、上記手法を含む従来手法は配置結果の質や計算時間に関して、まだ多くの課題を残している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、LSI等の設計において、回路図（スキマティック）上の各素子の位置関係や配置に関する素子間の制約条件を反映した、面積最小の素子レイアウトを与えるための自動配置手法として従来手法は配置結果の質や計算時間に関して、多くの課題を残している。

【0011】遺伝的アルゴリズムを応用した自動配置手法があるが、遺伝的アルゴリズムは、生物の進化あるいは遺伝のメカニズムに着想を得ており、確率的な近似探索を行う手法であって、初期解候補群の生成後、各解候補の適応度の評価、及び次期解候補群を生成するための選択・交叉・突然変異等の操作によって、新しく解候補群を逐次的に生成／評価して、より適応度の高い解候補を探索していくものであり、このアルゴリズムを応用し

た従来の自動素子配置方法においては、すべて成り行きに任せて処理を進め、評価値が最良となったものを配置結果として得ることから、配置結果の質や計算時間などの点で多くの問題点を有する。

【0012】例えば、選択・交叉・突然変異等の操作により次々に新しく生成されていった解候補群が、より適度の高い解候補の探索につながってゆけば良いが、必ずしもそうとはならない。従って、得られる配置結果の質や計算時間などの点で多くの問題点を抱える。

【0013】そこで本発明の目的とするところは、適度の高い解候補の探索を可能にし、より短い時間で、質の良い配置結果を得ることができるようにした要素配置装置および要素配置方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる配置探索の実行過程において、ユーザが対話的に途中介入することにより、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの探索能力とユーザの経験的知識あるいは判断能力を相互に作用させることができるようにした方法および装置を提供し、LSIの素子配置設計において、高品質の素子配置結果（要素配置結果）を効率良く与えることができるようにする。

【0015】具体的には、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる素子自動配置過程を画面表示し、ユーザの判断で探索及び画面の動きを一時止め、制約条件や素子（要素）の配置場所等の一部変更を指示したあと、再びアルゴリズム乃至ヒューリスティックスを続行することができることにより、ユーザによる介入が可能で、ユーザによる介入指示内容がアルゴリズム乃至ヒューリスティックスの求める解候補群に徐々に反映（学習／遺伝）され、最終的に、高品質な素子配置結果（要素配置結果）を効率良く与えることができるようにする。

【0016】更に、配置に関する制約条件を画面上でマウス等のポインティングデバイスを用いて入力し、必要に応じてそれらの制約条件を容易に変更できるようにする。

【0017】そのために、本発明は次のような手段を講じた。すなわち、複数の回路素子にて構成する回路図上の各素子の相対的な位置関係や配置に関する制約条件を反映するように前記各素子を所定実装エリア内に最適配置するための要素配置装置において、前記回路図上で指定された配置に関する制約条件を利用し、素子配置座標決定操作を施すことにより、前記回路に含まれる素子の配置座標を決定して種々の解候補を求めるアルゴリズム乃至ヒューリスティックスを用いた素子配置手段と、前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによって逐次改善される解候補集合のうちの最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを、所要の時間間隔で画面上に表示する途中結果表示手段と、前記途中結果表示の実行及びアルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行を一

時的に停止させ、前記画面上に表示された配置の途中結果の1つまたは複数の配置パターンを参照して、素子または素子群の相対的な配置場所の変更指示あるいは配置に関する制約条件の設定変更指示を施すことによりこれらを変更または確定する配置パターン及び配置制約条件変更手段と、前記変更または確定された部分的な配置場所及び制約条件を反映させ、再度前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行する素子配置継続手段とを具備する。

【0018】このような構成において、回路図上の素子の相対的な位置関係や配置に関する制約条件を与える、回路図上で指定されたこれら配置に関する制約条件を入力データとして素子配置手段は前記回路に含まれる素子の配置座標を決定する。素子配置手段は前記入力データを元に素子配置座標決定操作を施すアルゴリズム乃至ヒューリスティックスを用いており、これによって素子配置座標決定操作を施すことにより、前記回路に含まれる素子の採り得る配置座標を種々決定する。そして、途中結果表示手段は、前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによって逐次改善される解候補集合のうちの最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを、ある一定時間間隔あるいは指定された時間間隔で、画面上に表示することで途中結果表示する。ユーザはこの途中結果表示を見て、必要により前記途中結果表示の実行及びアルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行を一時的に停止させ、前記画面上に表示された配置の途中結果の1つまたは複数の配置パターンを見て、素子又は素子群の相対的な配置場所の変更あるいは配置に関する制約条件の設定を配置パターン及び配置制約条件変更手段により変更または確定する。この変更または確定が行われると、素子配置継続手段は当該変更または確定された部分的な配置場所及び制約条件を反映させ、再度前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行させる。

【0019】このように本発明は、複数の回路素子にて構成する回路図上の各素子の相対的な位置関係や配置に関する制約条件を反映させて所定の配置エリア内に素子の最適配置（レイアウト）をする場合に、例えば遺伝的アルゴリズムやヒューリスティックスによって新世代の複数の解候補を世代を重ねて逐次改善された解候補を求めてゆき、これによって逐次改善される解候補集合のうちの最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを見付けるが、途中世代の解候補について人為的に配置あるいは制約条件の変更を施し、修正してこれを元に遺伝的アルゴリズムやヒューリスティックスによる新世代の解候補を求める処理を継続させるようにすることで、良好な解を短時間で得るようにした。そのため、本発明によれば、適度の高い解候補の探索を可能にし、より短い時間で、質の良い素子配置結果を得ることができるようにする要素配置装置および要素配置方法を提供することができる。

【0020】また、本発明に係わる要素配置システムにおいて、前記の配置パターン及び配置制約条件変更手段における素子（要素）あるいは素子群（要素群）の相対的な配置場所の変更は、配置画面上に表示された素子あるいは素子群をマウス等のポインティングデバイスを用いてグラフィカルユーザインタフェース（GUI）機能により移動操作する、あるいは整列配置する、ことによって行われることを特徴とし、前記の配置パターン及び配置制約条件変更手段における配置制約条件の変更は、配置制約条件入力手段によって入力された配置制約条件を、回路画面または配置画面上でマウス等を用いて素子間のリンクを直接張り替えるあるいはマウス等を用いて素子または素子群を移動することによって素子間のリンクを間接的に張り替える、あるいは特殊記号を変更することによって制約を設定し直すことを特徴とする。

【0021】このような本発明においては、前記の配置パターン及び配置制約条件変更における素子あるいは素子群の相対的な配置場所の変更は、配置画面上に表示された素子あるいは素子群をマウス等のポインティングデバイスとGUI機能を用いて移動操作するかあるいは整列配置することによって行われ、前記の配置パターン及び配置制約条件変更手段における配置制約条件の変更は、GUI機能を用い画面上で素子間に関連を意味付ける指示操作、例えば、回路画面あるいは配置画面上に素子間にリンクを張る、あるいは条件定義付けされた特殊記号などの記号を用いて素子に条件を明示する、ことによって入力し、回路画面上での制約条件の変更と配置画面上での制約条件の変更は互いに連動するようにしておき、回路画面及び配置画面は常に同じ制約条件を有する如く意味付けるようにした配置制約条件入力手段によって入力された配置制約条件を、素子間のリンクを直接張り替えるあるいはマウス等のポインティングデバイスを用いて素子または素子群を移動することによって素子間のリンクを間接的に張り替える、あるいは特殊記号を変更することによって制約を設定し直すことができる。

【0022】さらには、本発明において、素子配置手段には、前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの途中における解候補集合に関する情報を一時保存し、前記素子配置継続手段には、前記素子配置手段において一時保存された解候補集合の情報を次期解候補集合作成のための情報として利用し、再度アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続させるようにする機能を持たせたことを特徴とする。そして、さらに本発明においては、前記途中結果表示手段には、過去に表示した配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の画面を再表示する機能を有しており、前記配置パターン及び配置制約条件変更手段には、前記実行の一時的な停止の指示を受けると実行の一時停止をし、その後、前記途中結果表示手段において過去に表示された配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の画面表示に遡り、前記過去に表示

された配置の途中結果、あるいはその変更済みの途中結果の1つ又は複数の配置パターンを見て、前記配置パターン及び配置制約条件変更手段により過去の当該途中結果の配置パターンにおける素子あるいは素子群の配置や制約条件などの変更を行うことができ、この変更を行うと前記素子配置継続手段は、再び前記過去の時点から、前記変更を反映させ、再度前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行することができるようにした。

【0023】このような構成とすると、前記アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの途中における解候補集合に関する情報を一時保存しておくことができ、前記素子配置継続手段は、前記素子配置手段により一時保存された解候補集合の情報を、次期解候補集合作成のための情報として利用し、再度アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続させることができる。そして、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行を一時停止させ、過去に既に表示された配置パターンを再び表示させてその配置パターンについて素子の配置位置や制約条件の変更を人為的に行い、その変更された内容を反映させて当該過去に既に表示された配置パターンから再度、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実施させることにより、過去に既に表示された配置パターンに遡り、その配置パターンについて素子の配置位置や制約条件の変更を人為的に手直しして最適な配置パターンが得られるようにする。このように、次々に得られる複数の解の配置パターンのうち、評価の良好な解となる配置パターンを元にして新世代の配置パターンとなる解を得て状況を観察しながら、最良解により早く近付くことができる配置パターンに遡って、これをさらに配置位置や制約条件の変更を人為的に手直し、これを元に新世代の配置パターンとなる解を得ていくようにした。つまり、先祖の世代に配置パターンの良好なものがあり、子世代、孫世代に移るに従い、むしろ状況が良い方向に改善されないような場合でも、先祖の世代の配置パターンに良好なものがあれば、それを手直ししてそれを元に新世代の配置パターンとなる解を得てゆくようにできることから、早く最適あるいは近似最適解となる配置パターンを求めることができ、しかも、良好な配置パターンを確実に取得できるようになる。

【0024】本発明は、回路図を表示する回路画面と配置結果を表示する配置画面を有する要素配置システムにおける制約条件の入力装置において、配置に関する制約条件は回路画面あるいは配置画面上に素子間にリンクを張るあるいは特殊記号で明示することによって入力することを特徴とし、回路画面上での制約条件の変更と配置画面上での制約条件の変更は互いに連動し、回路画面及び配置画面は常に同じ制約条件を有することを特徴とする。

【0025】本発明によれば、アルゴリズム乃至ヒュー

リスティックスによる配置の途中過程における1つあるいは複数の配置パターンを、ユーザが配置画面上で実際に目で確かめながら、必要に応じて（ユーザの経験的知識あるいは判断能力により）、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行及び途中結果の表示を止めて、配置の一部を修正したり部分的に良い配置を固めたり、あるいは配置制約条件の設定を変更して、再度アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行する。従って、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる配置の実行過程においてユーザによる介入が可能となり、更にそのユーザ介入の内容はその後のアルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行に徐々に反映（学習／遺伝）されていくので、ユーザの満足度の高い、且つ、質の高い素子配置結果を効率良く求めることが可能となる。本発明によれば、配置に関する制約条件を画面上でマウス等を用いて入力し、必要に応じてそれらの制約条件を容易に変更することが可能となる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の具体例を説明する。本具体例では、要素（具体的には素子）配置座標決定操作を行うアルゴリズム乃至ヒューリスティックス（heuristics）として遺伝的アルゴリズムを用いる。

【0027】ここで、ヒューリスティックスとは、次のように定義される。

【0028】(1) 必ずしも正しいとは限らない規則のことで、アルゴリズムに完全性を要求するのに対し、平均値で性能が良ければよいとする手法。

【0029】・・・「アルゴリズム辞典」、共立出版、島内剛一他編集、1994。

(2) 良い方法だということが必ずしも証明されていないが、多くの場合にうまくいくことが知られているような手法。

【0030】・・・「アルゴリズムとデータ構造」、岩波講座ソフトウェア科学、岩波書店、石畑清著、1989。

(3) 実用的な時間内で準最適解を探索する手法。最適解は保証しない。また、最適解にどの程度近いかも明示しない。

【0031】・・・“Modern heuristic techniques for combinatorial problems”, Blackwell Scientific Publications, C. R. Reeves 著, 1993。

ヒューリスティックスとはこのようなものであり、その一例をあげると、

1. 欲張り法： 局所的な評価に基づいて解を直接構成していく方法
2. ランダム法： ランダムに多数の初期解を生成し、その中の最良のものを答えとする方法
3. 近傍探索法： 解を1つ作成し、その近傍の中で目的関数値を改善できるものがあれば、それに置き換えるという方法

4. 緩和法： 制約条件を緩和して1つの解を簡単に構成し、それに修正を加えて元の問題の解を得ようという方法

5. 分割法： 対象問題の定義領域を幾つかの部分領域に分割し、それぞれの解を合成して元の問題の解を作る方法といったものがある。

【0032】上記のような様々なヒューリスティックスを結合させ、より効果の高い近似解法を構成するための枠組を、特にメタヒューリスティックス、あるいはモダンヒューリスティックスと呼ぶことがある。シミュレーテッド・アニーリング法や遺伝的アルゴリズムはメタヒューリスティックスの代表的な例である。

【0033】メタヒューリスティックス、あるいはモダンヒューリスティックという用語も、必ずしもまだ一般に普及した用語ではないため、従来通り単に「ヒューリスティックス」と呼ぶ場合が多い。

【0034】図1は、本発明の具体例に係わるLSI素子配置装置（LSI要素配置装置）の概略構成を示すブロック図であり、概略的には、回路図データベース10、前記配置制約条件ファイル20、素子配置処理部30、途中結果ファイル40、回路図表示部50、途中結果表示部60、配置パターン及び配置制約条件変更部70とを備えて構成されている。

【0035】これらのうち、回路図データベース10は素子やネットリスト等の情報が収められたデータベースであり、配置制約条件ファイル20は配置に関する制約条件が収められたファイルである。また、素子配置処理部30は前記回路図データベース10と前記配置制約条件ファイル20から得られる情報を入力データとして、遺伝的アルゴリズムを用いて素子の配置座標決定操作を行うものであり、途中結果ファイル40は前記素子配置処理部30の求めた遺伝的アルゴリズムによる途中世代の結果（素子配置結果）を保存するファイルである。

【0036】回路図表示部50は、前記回路図データベース10の情報をもとに回路図を表示するためのものであり、途中結果表示部60は前記回路図データベース10及び途中結果ファイル40の保持情報をもとに前記素子配置処理部30による途中結果（素子配置結果）を表示するためのものである。また、配置パターン及び配置制約条件変更部70は、素子または素子群の相対的な配置場所の変更あるいは配置に関する制約条件を変更する操作をするためのものであって、前記回路図表示部50または途中結果表示部60の画面を見ながらのオペレータの操作による必要に応じての途中結果表示や、当該途中結果表示を参照しての必要に応じた遺伝的アルゴリズムの実行の一時停止指示をしたり、オペレータの操作によるマウスやトラックボールあるいはジョイスティックやペン等のポインティングデバイス等を用いての、素子または素子群の相対的な配置場所の変更あるいは配置に関する制約条件を変更指示に基づき、当該指示に従って

の当該配置場所の変更あるいは配置に関する制約条件変更をすると云った如き処理をするものである。

【0037】本発明システムでは、このような機能をサポートするために、ポインティングデバイス等を用いて、画面上での対象物に対する様々な操作をコンピュータ処理に反映させるビジュアルな操作を主体にしたコンピュータ技術の一つであるグラフィカルユーザインタフェース（GUI）の機能を活用している。

【0038】本発明の特徴は、配置パターン及び配置制約条件変更部70を設けたことにより、途中結果表示と遺伝的アルゴリズムの実行を一時停止させたり、マウス等を用いて、素子または素子群の相対的な配置場所の変更あるいは配置に関する制約条件を変更することができるようにした点にある。そして、この変更した条件や配置場所の情報を反映させて以後の処理を続行させるようにした点にある。

【0039】動作の詳細を説明する。このような構成のLSI素子配置装置において、回路図表示部50は、配置制約条件ファイル20の情報を元に、配置に関する制約条件をも表示する。また、回路図表示部50と配置結果表示部60の間には配置に関する制約条件の受け渡しを行うインターフェースが存在し、回路図表示部50に表示された配置に関する制約条件は途中結果表示部60にも表示される。

【0040】ここで、配置パターン及び配置制約条件変更部70における“素子または素子群の相対的な配置場所の変更”というのは、途中結果表示部60の画面上に表示された配置の途中結果の1つあるいは複数の配置パターンに対して一時的に行われるものであり、配置に関する弱い制約条件として、配置制約条件ファイル20に書き込まれる。

【0041】一方、“配置に関する本来の制約条件の変更”は、回路図表示部50あるいは途中結果表示部60に対して作用され、その変更の結果は配置制約条件ファイル20に書き込まれる。

【0042】前記変更が終了した後、配置パターン及び配置制約条件変更部70は素子配置処理部30に対して前記遺伝的アルゴリズムの再開を促す信号を送る。前記信号を受け取ると、素子配置処理部30は、途中結果ファイル40に保存されている途中世代の情報を元に、配置制約条件ファイル20に新しく書き込まれた情報を反映させ、前記遺伝的アルゴリズムの実行を再開する。

【0043】図1のLSI素子配置装置の動作手順を、図2、図3のフローチャートを用いて説明する。図2は動作手順を大きく4つのステップで表したフローチャートであり、図3はそれを具体化したフローチャートである。

【0044】動作手順は素子配置ステップS101から始まる。

【0045】〔入力ステップS100の処理〕素子配置

ステップS101では図3に示すように、まず初めに、素子やネットリスト等、配置の対象とする回路図に関する情報、及び配置に関する制約条件を、それぞれ回路図データベース10及び配置制約条件ファイル20から、素子配置処理部30に入力する（ステップS100-1）。尚、上述の、素子やネットリスト等、配置の対象とする回路図に関する情報、及び配置に関する制約条件は、予め用意してそれぞれ回路図データベース10及び配置制約条件ファイル20に格納しておくものとする。

【0046】〔素子配置ステップS101の処理〕次に、素子配置ステップS101に移り、素子配置処理部30に対し、入力ステップS100での入力データを元にしての遺伝的アルゴリズムを起動させる（ステップS101-1～S101-4）。この起動により素子配置処理部30はこの遺伝的アルゴリズムによる素子配置座標決定の処理を進め、そして、ある一定世代毎に前記遺伝的アルゴリズムの個体集団（解候補集合）の染色体等の情報、及び前記個体集団の中の最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンの座標等の情報を、途中結果ファイル40に格納する。以上が、素子配置ステップS101の処理である。

【0047】ここで素子配置処理部30において用いる遺伝的アルゴリズムは、文献「Handa & Kuga, “Polycell placement for analog LSI chip designs by genetic algorithms and tabu search”, Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, p p. 716-721, 1995年」に示されている如く、回路図上の素子の相対的な位置関係や配置に関する制約条件を反映すべく、各素子を配置するアルゴリズムである。

【0048】回路図において電源からグランドに至る電流路をブランチと呼ぶ。そして、例えば図5において、縦の曲線L1～L6で分割されているバスあるいは部分回路は、それぞれがここで云うブランチであることを示している。例えば素子R1, Q1, R2, Q2, R3で構成され、曲線L1に沿うバスは、1つのブランチである。つまり、縦の曲線L1～L6で分割されているバスあるいは部分回路は、それぞれがブランチであり、符号B1～B7を付しておく。

【0049】つまり、ブランチという概念を配置の最小単位として用いることにより、染色体で表現された解候補を配置パターンに復元する際に、ブランチ単位で素子の平行移動（コンパクション）を行うようにしている。

【0050】前記文献のアルゴリズムでは、回路図上の素子の相対的な位置関係を反映させるために、前記ブランチという概念を自動素子配置において扱われる最小の単位として用い、ブランチの左右関係やブランチ上の素子の上下関係を出来るだけ保存するような配置手法を採用している。

【0051】後で述べるように、ブランチに関する情報

は配置の最小単位となるため、配置結果への影響が少なからずある。従って、ブランチに関する情報は配置に関する制約条件の1つと見なすことができる。

【0052】なお、ブランチに関する情報は、予めユーザがファイル形式で与えても良いし、回路図表示部50あるいは途中結果表示部60の画面上から、後述する方法を用いて入力しても良いし、あるいは回路図上の素子の座標から自動的に算出するアルゴリズムを用いて作成してもよい。

【0053】後者の場合、例えば“x座標が同一もしくは極めて近接している素子同士は同一のブランチに属する”、というルールを用いて自動的に算出しても良い。

【0054】前記遺伝的アルゴリズムについて、補足説明をする。前記遺伝的アルゴリズムでは、予め配置領域内に設定された格子モデル(x, y方向に設定された格子)を想定して、各解候補(即ち、配置パターン)を、各素子のy格子座標をブランチ毎に横に1列に並べることによって表現する。この1列に並べられたy格子座標の列が、遺伝的アルゴリズムのいわゆる染色体(遺伝子の集まり)に相当することになる。

【0055】各染色体には、-x方向へのコンパクション(素子の移動による配置操作)を施すことによって、配置パターンが対応することになる。図4を用いて具体的に説明する。図4は、まず各素子のy格子座標を決定し、次に-x方向へのコンパクションによってx格子座標を決定する様子を示している。図4(a)の下部に記されている数字列[0 2 3; 2; 2 4; 1 1 2]は素子A, B, C, ..., Hの順に、そのy格子座標を並べたものであり、これが遺伝的アルゴリズムにおける染色体に相当する。数字間のセミコロンはブランチの区切りを示している。

【0056】図4では、ブランチ間のネットは煩雑になるので省略している。コンパクション(素子の移動による配置操作)は左側のブランチから順に、ブランチ内の素子を左に平行移動することによって行う。

【0057】その際、素子はx格子単位で配置する。素子を移動する順序は、例えば、左隣の既に移動済みのブランチに接続を持つ素子を優先してランダムに決めても良い。また、ブランチ間の左右関係をなるべく保持するために、“移動中のブランチに属する素子は、1つ及び2つ前のブランチに属する素子の最左端座標を越えてはならない”というような制約を設けて、この制約に処理を従わせるようにしても良い(図4(b)の素子G参照)。

【0058】配置パターンを評価する目的関数には、例えば配線長及び面積を評価するための仮想配線長及び配置領域幅や、ブランチ上の素子の上下関係やブランチの左右関係を保持するためのコスト関数をペナルティとして用いる。

【0059】図2における素子配置ステップS101の

詳細は、図3におけるS101-1, ~S101-5の処理に対応する。そして、図3のステップS101-1からステップS101-4までの処理が、遺伝的アルゴリズムの本体の概略フローである。

【0060】これを説明すると、まず、y格子座標列で表現された複数の解候補からなる初期世代を生成する(S101-1)。次に選択、交叉、突然変異という遺伝的操作を施して次の新世代を生成する(S101-2)。ここで選択とは、評価値(適応度)の高い解候補を優先して選ぶ操作であり、交叉および突然変異とはy格子座標のランダムな交換、変更である。

【0061】新世代の各解候補に対しては、素子の移動による配置操作であるコンパクションと、コスト関数の計算が行われ、評価値(適応度)が計算される(S101-3)。そして、その結果に応じて世代交代が行われる(ステップS101-4)。世代交代は、引き続き新世代を生成していくためのデータの上書きである。

【0062】以上の操作をある一定世代繰り返した後、得られた結果を前記途中結果ファイル40へ格納することになる(ステップS101-5)。

【0063】このように遺伝的アルゴリズムは、配置パターンをy格子座標列で表現、処理し、評価時にのみ配置パターンを復元する。

【0064】遺伝的アルゴリズムでは、実際の解候補は表現型と呼ばれ、文字列あるいは数字列で表現された個体、すなわち、染色体は遺伝子型と呼ばれる。

【0065】本具体例の配置問題の場合、実際の配置パターンが表現型であり、y格子座標列が遺伝子型である。

【0066】本具体例の特徴の1つは、表現型の配置パターン、あるいは入力データの回路図の上で、途中段階において配置に関する制約条件を変更し、その変更された情報を遺伝子型のy格子座標列に反映させることである。

【0067】ブランチに関する情報の他に、配置に関する制約条件として、例えば、回路の性能を高めるために隣接配置したい素子群(ペア素子(paired elements)と呼ぶ)、あるいはコンデンサのように配置領域の上部または下部に固定したい素子群に対する制約がある。ペア素子は、回路の特性を確保するために隣接配置したい複数の素子からなる集まりを指すものである。

【0068】前記遺伝的アルゴリズムでは、各ペア素子はアルゴリズムの前処理として予め1素子にマージされて扱われる。また、相対精度を上げるために予め分割されている抵抗は、もし密接に並べたい場合にはペア素子として扱う。配置領域の上部または下部に固定したい素子については、アルゴリズムの前処理として予めy格子座標が上部または下部、あるいはそれら両方が可能というように指定されている。

【0069】なお、ペア素子に関する情報や、配置領域の上部または下部に固定したい素子群の情報は、予めユーザがファイル形式で与えても良いし、回路図表示部50あるいは途中結果表示部60の画面上から、後述する方法を用いて入力しても良いし、あるいは部分回路の特徴から自動的に算出するアルゴリズムを用いて作成しても良い。

【0070】配置に関する制約条件は、回路図データベース10の情報をもとに回路図表示部50の画面（回路画面）に表示されている回路図上に、配置制約条件ファイル20の情報をもとに素子間を線や円で接続するなどして表示される。

【0071】例えば、図5は回路画面上に表示された回路図を表している。図5の、縦の曲線L1～L6で分離されているパスあるいは部分回路は、それぞれがブランチであることを示している。素子符号が○で囲んで表示されており、この○で囲まれた符号が接続されている素子群（○で囲まれた符号を曲線で結んで示した素子群）は、それぞれがペア素子であることを示している。

【0072】また、素子符号が△で囲まれて表示されている素子は、配置領域の上部に配置するように指定された素子を表しており、素子符号が逆三角形で囲まれて表示されている素子は配置領域の下部に配置するように指定された素子を表す。他に、図5には存在しないが、配置領域の上部または下部に配置するように指定された素子がある場合は、その素子は素子符号を菱形で囲んで表示される。

【0073】上記の制約条件を入力するための装置については後述する。

【0074】〔途中結果表示ステップS102の処理〕ステップS101の処理が終わると、次にステップS102の処理に移る。

【0075】ステップS102の処理ではまず途中結果表示のために途中結果表示部60に対する表示処理を指示する。この指示により、途中結果表示部60では、途中結果ファイル40と回路図データベース10の情報をもとに、素子配置処理部30の途中世代（ある一定世代間隔）の最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを、途中結果表示部60の画面（配置画面）上に表示する（ステップS102-1）。

【0076】例えば図6は、図5に示した回路図データ及び配置制約条件に対して、素子配置ステップS101での処理を施すことによって得られたある一定世代後の最良解の配置パターンの、配置画面上への表示例を示している。同世代の上位複数の良好解の配置パターンを表示する場合は、複数の配置画面にそれぞれの配置パターンが表示される。

【0077】表示すべき配置パターンの数が多い場合は、例えば切り替えボタンを設けておき、この切り替えボタンを押すことで他の配置パターンを交互に表示でき

るようにするといった方式を採用するようにしてもよい。

【0078】本システムにおいては、回路図表示部50と途中結果表示部60の間には、配置に関する制約条件の受け渡しを行うインターフェースが存在し、このインターフェースにより、回路図表示部50から途中結果表示部60へ、配置に関する制約条件の受け渡しが行われることにより、途中結果表示部60の配置画面上には配置に関する制約条件が各配置画面对応に表示される。

【0079】図7において、○で囲まれた符号が接続されている素子群、素子符号が△で囲まれて表示された素子あるいは素子符号が逆三角形で囲まれて表示された素子の意味は図5の説明と同様である。ブランチについては、同じブランチに属す素子群を折れ線で接続することによって表示される。素子間を接続するネットとブランチの折れ線を同時に表示すると、図が煩雑になるので、ブランチ情報を表示した部分だけを図7として付記する。

【0080】尚、本システムにおいては途中結果表示部60は、過去に表示した配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の画面を再表示することができる機能を有すると云う特徴もある。この場合、前記途中結果ファイル40に保存されている過去の途中世代の情報が使用される。また、途中結果表示部60は内部にメモリを有しており、過去に表示した配置の途中結果に変更が加えられたことの履歴は、途中結果表示部60内の前記メモリに保存するようにしておいても良いし、途中結果ファイル40にフィードバックしておいても良い。

【0081】以上が途中結果表示ステップS102での処理内容である。途中結果表示ステップS102での処理が終わると、次に配置パターン及び配置制約条件変更ステップS103の処理に移る。

【0082】〔配置パターン及び配置制約条件変更ステップS103の処理〕このステップでは配置パターン及び配置制約条件変更ができる。前記ステップS102での処理で述べたように、回路図表示部50の回路画面と途中結果表示部60の各配置画面の間には、配置に関する制約条件の受け渡しを行うインターフェースが存在し、これら複数の画面上に表示された配置に関する制約条件は、前記インターフェースによって常に同一の情報が保持されている。

【0083】ユーザ（オペレータ）は、ある一定世代間隔で配置画面に表示される当該新生世代の1つあるいは複数の配置パターンを見て、ユーザ自身の判断で、途中結果表示部60の配置画面の動き及び、素子配置処理部30の遺伝的アルゴリズムの実行を、回路図表示部50あるいは途中結果表示部60の画面上の操作ボタンを、マウス操作によりクリックするなどして、一時的に停止することができる。

【0084】停止した場合は、配置パターン及び配置制約条件変更部70の機能を用いて、素子または素子群の相対的な配置場所、あるいは配置に関する制約条件を、所要の入力操作を経ることにより変更する（ステップS103-1）。配置画面の動きや、遺伝的アルゴリズムの実行を停止しない場合は、すなわち、回路図表示部50あるいは途中結果表示部60の画面上の操作ボタンを操作しない場合はこのステップS103の処理はスキップされる。また、遺伝的アルゴリズムの実行を終了したい場合は、図3におけるステップS105-1の処理に進む。

【0085】回路画面上で配置に関する制約条件を変更する場合は、例えばマウス等を用いて、ブランチ間を分割している縦の曲線を引き直したり、○で囲んだ素子符号が接続されて表示されている素子、つまり、ペア指定されている素子の当該ペア指定を解除したり、新たに素子符号を○で囲んで接続することによって新たに素子のペア指定を行うことでペア指定を追加したり、あるいは△、逆三角形、菱形の表示を解除または追加する操作を行うことにより実施する。

【0086】配置画面上で配置に関する制約条件を変更する場合は、例えばマウス等を用いて、縦の折れ線を接続し直す。これによってブランチ情報の変更を行うことができる。

【0087】素子符号を○で囲み、かつ、接続させた素子群、素子符号が△あるいは逆三角形あるいは菱形で囲まれて表示された素子の変更は、回路画面上での変更と同様である。

【0088】更に、配置画面上では、マウス等を用いて素子または素子群を指定し、当該マウス等のドラッグ操作などにより、位置を移動することができるようなソフトウェア構成としておく。そして、このようにして素子または素子群を移動操作することによってブランチ情報の変更やペア素子の変更を行うことも可能である。そして、例えば、素子または素子群の移動操作によって、異なるブランチ内の素子の配置場所が左右に入れ替わる場合は、それに応じてブランチ情報も自動的に変更されるようなソフトウェア構成としておく。

【0089】また、配置画面上で複数の素子を移動操作し、隣接配置の部分パターンを作成することによって、ペア指定を行うことができる。回路画面あるいは配置画面上で変更された配置に関する制約条件は、配置制約条件ファイル20に書き込まれる。配置画面が複数ある場合は、各配置画面の配置パターン上で変更された配置に関する制約条件は、他の配置画面上の配置パターン及び、回路画面にも反映される。

【0090】逆に、回路画面上で変更した配置に関する制約条件は、各配置画面上の配置パターンに反映される。

【0091】配置画面上では、配置に関する制約条件の

変更の他に、素子または素子群の相対的な配置場所の変更を行う。この変更は、各配置画面上の配置パターン毎に、素子あるいは素子群をマウス等を用いて移動する、あるいは整列配置することによって行う。移動あるいは整列配置によって変更された素子のy格子座標及び素子の左右の並び順は、配置パターン名（個体番号）と共に配置制約条件ファイル20に書き込まれる。

【0092】前述したように、これらの情報は、途中結果表示部60の画面上に表示された配置の途中結果の1つあるいは複数の配置パターンに対して一時的に行われるものであり、次の素子配置継続ステップS104において、配置に関する弱い制約条件として扱われる。

【0093】そして本システムでは、前記途中結果表示部60の配置画面の動きや素子配置処理部30の遺伝的アルゴリズムの実行を、一時停止すべく操作することができる。この場合、過去に表示された配置の途中結果、あるいはその変更済みの途中結果の画面表示に遡り、前記過去に表示された配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の1つ又は複数の配置パターンを見て、素子または素子群の相対的な配置場所、あるいは配置に関する制約条件を変更することも可能になる。

【0094】すなわち、オペレータは一時停止のための操作をして前記途中結果表示部60の配置画面の動き及び、素子配置処理部30の遺伝的アルゴリズムの実行を、一時的に停止させる。その後、前記途中結果表示ステップS102において過去に表示された配置の途中結果、あるいはその変更済みの途中結果の画面表示に遡り、前記過去に表示された配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の1つ又は複数の配置パターンを見て、素子または素子群の相対的な配置場所、あるいは配置に関する制約条件を変更することも可能である。これにより、配置制約条件ファイル20には変更された制約条件が書き込まれる。

【0095】以上が、配置パターン及び配置制約条件変更ステップS103での処理の詳細である。

【0096】ステップS103を経ると次にS104の素子配置継続ステップに入る。

【0097】〔素子配置継続ステップS104の処理〕素子配置継続ステップS104での処理は素子配置処理部30での処理であり、素子配置処理部30では、前述の配置パターン及び配置制約条件変更ステップS103において書き込まれた配置制約条件ファイル20、及び素子配置ステップS101において、途中結果ファイル40に格納された前記遺伝的アルゴリズムの途中世代の個体集団の染色体等の情報を元に、前記遺伝的アルゴリズムの実行を再開する（ステップS103において過去の途中結果に遡って変更した場合は、その過去の時点における世代から再開すること以外は上記と同様である）。

【0098】但し、配置パターン及び配置制約条件変更

ステップS 1 0 3において、一時停止を行わなかった場合は、前記遺伝的アルゴリズムがそのまま自動的に継続実行される。

【0 0 9 9】一時停止後に再開される遺伝的アルゴリズムにおける次世代生成処理においては、まず前記途中世代の各個体に対して、配置制約条件変更ファイル2 0のブランチ及び、ペア素子及び、配置領域の上部または下部に固定したい素子群に対する制約条件が反映される。例えば、新しくペア素子として指定された素子群は1素子にマージされる。また、ブランチ情報の変更は、遺伝的アルゴリズムの染色体における素子の並び順に反映される（図3のステップS 1 0 4 - 1）。

【0 1 0 0】染色体に反映されたこれらの情報は、その後の遺伝的アルゴリズムによる探索に影響を与え、ユーザによる前記配置に関する制約条件の変更を反映した、ユーザにとって更に良い解候補群を探索することになる。

【0 1 0 1】次に、上記のように変更された前記途中世代の最良解あるいは上位複数の良好解に対して、素子または素子群の相対的な配置場所の変更に関する（弱い）制約条件を反映させる処理が行われる。

【0 1 0 2】この操作は前記途中世代の最良解あるいは上位複数の良好解の個体毎に行われる。例えば、ある個体の配置パターンに対してy格子座標が変更された場合は、その個体の対応する染色体の要素（y格子座標）を変更する。また、ある個体の配置パターンに対して、素子の左右の並び順が変更された場合は、その個体に対するコンパクション時の素子の移動順の優先度に対して、前記並び順を反映させる（ステップS 1 0 4 - 1）。

【0 1 0 3】最良解あるいは上位複数の良好解の個体（染色体）に反映されたこれらの変更情報は、その変更内容が遺伝的アルゴリズムの適応度へ貢献するものである場合は、その後の遺伝的アルゴリズムの遺伝的操作、特に交叉によって他の個体にも影響を与えていくことが期待できる。

【0 1 0 4】しかし、例えば交叉によって他の個体にそのまま反映されることがある一方、逆に他の個体からの影響で前記変更情報が消えてしまうこともある得る。弱い制約条件の「弱い」という言葉には、そのような意味を含んでいる。

【0 1 0 5】以上が、素子配置継続ステップS 1 0 4での処理内容である。

【0 1 0 6】素子配置継続ステップS 1 0 4での処理の後には、再び、途中結果表示ステップS 1 0 2での処理に戻り、以下、ステップS 1 0 3→S 1 0 4→S 1 0 2のサイクルが必要回数だけ繰り返される。

【0 1 0 7】【出力ステップS 1 0 5の処理】S 1 0 3→S 1 0 4→S 1 0 2のサイクルが必要回数だけ繰り返された段階で、あるいはS 1 0 3において終了のボタン操作を行った場合に、この出力ステップS 1 0 5に入

る。S 1 0 3において終了のボタン操作を行うケースは例えば、既に満足のいく配置パターンが得られている場合である。ユーザは途中結果表示部6 0に表示される、1つあるいは複数の配置パターンを見て、満足のいく配置パターンが得られている場合は、途中結果表示部6 0の配置画面の動き及び、素子配置処理部3 0の遺伝的アルゴリズムの実行を終了するボタン操作をする。

【0 1 0 8】この操作により、遺伝的アルゴリズムの実行が終了すると、素子配置処理部3 0はその終了世代の最良解のデータ（配置パターンの各素子の座標等のデータ）を出力する。出力結果は、例えば、途中結果ファイル4 0に最終配置結果ファイルとして格納するようにしてもよい。以上が出力ステップS 1 0 5での処理である。

【0 1 0 9】【S 1 0 4での処理の補足】前記素子配置継続ステップS 1 0 4での処理について補足する。途中結果表示部6 0においては、次々に生成される新世代の解である配置パターンについて、ある一定世代間隔で、最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを画面表示していくことになるが、前記遺伝的アルゴリズムは、その表示された世代（つまり途中世代）の配置パターン取得後も継続して実行され、再びある一定世代を経てから、最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを画面表示する。

【0 1 1 0】つまり、新世代は次々に生成されつつ、画面表示はある一定世代間隔で行われることになり、遺伝的アルゴリズムの実行はステップS 1 0 3でオペレータによる一時停止のボタン操作が行われない限り、継続実行されている。従って、ステップS 1 0 3で一時停止操作を行った時点における遺伝的アルゴリズムの世代は、通常、前記途中世代よりも少し先に進んでいる。従って素子配置継続ステップS 1 0 4では、途中結果ファイル4 0に保存されている前記途中世代の情報を使う必要がある。

【0 1 1 1】図8に、上記の各ステップの機能を実行するために必要な機能画面を、1つの画面上に表示した例を示す。機能画面は1つの“回路画面”と、2つの“配置画面”からなる。

【0 1 1 2】“回路画面”には遺伝的アルゴリズム起動ボタンである“[GA起動]”ボタンと、実行及び途中結果表示の一時停止操作のためのボタンである“[GA停止]”ボタンと、前回表示した途中結果表示の画面に戻るための操作ボタンである“[1画面戻]”ボタンと、配置に関する制約条件変更の操作ボタンである“[制約変更]”ボタンと、遺伝的アルゴリズム及び途中結果表示の継続のための操作ボタンである“[GA再開]”ボタンと、遺伝的アルゴリズム及び途中結果表示の終了のための操作ボタンである“[GA終了]”ボタンが設けられている。また、各配置画面には制約変更のための操作ボタンである“[制約変更]”ボタン及び配置

変更のための操作ボタンである“[配置変更]”ボタンが設けられている。これらはマウскарソルを所望のボタン上に移動操作し、マウスの操作ボタンをクリックするといった操作により押圧指示することができる。

【0113】そして、“[GA起動]”ボタンを押した場合は、素子配置ステップS101の遺伝的アルゴリズムプログラムが起動され、このプログラムの実行により、ある一定世代間隔で、配置画面上に途中世代の最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンが逐次、表示されてゆくことになる。

【0114】また、“[GA停止]”ボタンを押した場合は、遺伝的アルゴリズムプログラムの実行及び途中結果の表示が一時的に停止される。また、この一時停止状態において、“[GA再開]”ボタンを押せば、前記遺伝的アルゴリズムプログラムの実行及び途中結果の表示が、何の制約条件変化もなく再開されて処理が継続される。

【0115】“[1画面戻]”ボタンを押した場合は、前回表示した途中結果表示画面、すなわち、前記ある一定世代前の途中結果の表示画面（回路画面と各配置画面）を再表示する処理が行われ、前回表示した途中結果表示画面が再表示される。

【0116】“[制約変更]”ボタンを押した場合は、そのボタンが回路画面であるか配置画面であるかにより、その対応の画面での配置に関する制約条件の変更を行うことができる。

【0117】従って、配置に関する制約条件を変更したい場合は、回路画面あるいは配置画面の“[制約変更]”ボタンを押して、前述した方法で配置に関する制約条件を変更する。

【0118】例えば、ある配置画面に表示されている素子または素子群の相対的な配置場所を変更したい場合は、その配置画面の“[配置変更]”ボタンを押し、マウス操作などによる前述した方法で素子または素子群の相対的な配置場所を変更する。変更後は、“[GA再開]”ボタンを押すことによって、再び前記遺伝的アルゴリズムのプログラムが続行され、変更された素子または素子群の配置場所を元に次の世代の処理へと進み、最良解のデータ（配置パターンの各素子の座標等のデータ）を求めていくことになる。

【0119】なお、“[GA起動]”ボタン、“[GA停止]”ボタン、“[1画面戻]”ボタン、“[GA再開]”ボタン、及び“[GA終了]”ボタンの設置位置は、図8のように配置画面のエリア外に設けるレイアウトのほか、配置画面内に設けるレイアウトであっても良い。その他、回路画面や配置画面の位置や、ボタンの種類及び位置等については、種々変形して実施可能である。

【0120】実際にこれらのボタンを使用して素子レイアウト処理の実施をした場合の例を、図8乃至図10を

用いて示す。ここで図8の回路画面及び配置画面の1つには、図5の回路図及び図6の配置結果がそれぞれ表示されているものとする。図8のもう1つの配置画面にも図6同様の配置結果が表示されるが、以下の説明には必要ないので省略する。

【0121】図10は、図8の回路画面（すなわち、図5の回路図）上で、ブランチB1とB2、及びブランチB5とB6をそれぞれ一つのブランチにまとめ、図8の配置画面（すなわち、図6の配置結果）の上で、素子Q5の逆三角形印指定を行うことと、素子Q7とQ10のペア指定を外し、新たにペア素子として素子Q1と素子R1のペア指定、素子Q4と素子R6のペア指定、素子Q7と素子R10と素子Q10のペア指定、素子Q6と素子R11と素子R12と素子Q11のペア指定を追加した後の回路画面である。

【0122】これら配置に関する制約条件の変更操作後、S104→S102→S103のサイクルを複数回繰り返して得られた配置結果を図10に示す。図10の配置結果は、実際は図8の配置画面の1つに表示される（今まで同画面上に表示されていた配置結果は消去される）。

【0123】以下に、上記の例の簡易版を用いて、配置に関する制約条件の具体的な変更操作の様子（例）を示す。ただし、先に説明した具体例のフルセット版ではなく、極一部を実際にプログラムとして実現した場合の例であることを断っておく。

【0124】上述したように、ブランチデータは予めユーザがファイル形式で指定したり、あるいは回路図上の素子の座標値や部分回路の特徴から自動作成し、また、必要ならばユーザが一部修正し、ペアデータは予めユーザがファイル形式で指定したり自動生成したりして得る。最適結果を得ようとするならば、ユーザの修正は必要となることが多いが、そのためにはユーザの経験的知識や判断能力が必要であり、指定の仕方によって配置結果にも影響が出てくる。

【0125】例えば、ブランチの指定が細かすぎると素子の左右関係の制約が厳しくなる。また横方向に長いペア素子群は他の素子の配置場所を制限してしまうため、全体的に良い配置結果を与えるとは限らない。

【0126】このような理由から、十分に考慮してブランチやペアデータを作成したとしても、あるいは自動生成されたものが当初は最適であると思ったとしても、ユーザは実際の自動配置の途中結果を見て、ブランチやペアデータに修正を加えたい場合もあると考えられる。特にペア素子の指定については、配線経路や面積を考慮して、新たな指定の追加や解除をしたい場合が多いと考えられる。具体的には次のようなケースが予想される。

【0127】1. 回路図で1素子または2素子からなる細かいブランチ（例えばb1, …, bk-1とする）が複数隣接していて、ブランチbkに細長い抵抗あるいは大

型のコンデンサといった素子Aが属していた場合、素子Aは常にブランチ b_1, \dots, b_{k-1} 内の素子群の右側に配置されることになり、無駄な空白面積 (dead space) を作ることになりかねない。

【0128】このような場合は、 b_1, \dots, b_k を1ブランチにまとめることで素子同士の左右関係の制約を外すことができる。

【0129】2. 複数のトランジスタをペア素子として横型にマージした結果を見て、それらトランジスタ間に抵抗を挿入したくなる。

【0130】3. 横方向に長いマージ素子は、それ自体はきれいに整列しているが、他の素子の配置場所を制限してしまうため、空白面積を作ることが多い。このような場合は2段に分割したり、あるいは一部の素子をマージから外すという方法が考えられる。

【0131】4. 電源やグランドに接続している抵抗が2つの抵抗に分割され、更に1素子として横型にマージされている場合、それを縦型に変更することによって電源あるいはグランドの端子領域を有効利用できる（このケースは特例として遺伝的アルゴリズムの中に組み込むことも可能である）。

【0132】5. ペア指定はしなかったのに、きれいに整列配置されている素子群があった場合、それらを新たにペア素子として指定したい。

【0133】このようなことを可能にするのが本発明である。

【0134】[具体的な使用例] 次に、前記例の具体的な使用例を図11乃至図13に示す。

【0135】図11乃至図13に示す使用例では、遺伝的アルゴリズムの実行と途中結果の画面表示を一時停止し、配置画面上でペア素子データを変更し、更に回路画面上でブランチデータを変更して、再度遺伝的アルゴリズムの実行（及び途中結果の画面表示）を再開する様子を示している。

【0136】この使用例は前記の例を簡略化して実現したものであり、回路図の表示や各種ボタンの位置あるいは名称が多少異なる。また、ペア素子のマージのタイプは横型のみ扱うようになっている。

【0137】このように簡略化されてはいるが、本具体例の本質的な動作は実現されている。図11のIは配置画面を、IIは回路画面を表している。回路画面IIには回路図を模擬した図が表示されている。この回路図では簡単のため、抵抗やトランジスタ等の素子は全て矩形で表示されている。素子間のネットは、煩雑になるので省略している。ブランチ B_0, B_1, \dots は、素子群を点線の折れ線でリンクすることによって表している。回路画面IIの回路図の下部に示すように、各ブランチには左から0, 1, 2, \dots 6という具合に、通番が付されている。ペア素子については、Iの配置画面（この配置画面上の配置パターンは、後述するように新世代生成のために遺

伝的アルゴリズムをある一定世代実行した後のものである）に符号PA, PB, PC, PD, PEを付して太線で表示したように、PAからPEまでの計5つのペア素子がある（ペア素子PA, PB, PCは、それぞれ1つの抵抗を複数の小さな抵抗に分割してマージしたものであり、ここではペア素子と同様に扱っている）。ペア素子内の各素子には左側の素子から順に、0, 1, 2 \dots といった通番が付けられている。

【0138】これら回路図に関する情報、及び配置に関する制約条件（ブランチ、ペア素子のデータ）が素子配置処理部30に入力されるデータである。図11の配置画面Iにおける“[開始]”ボタンを押すと、前記入力データを元に遺伝的アルゴリズムのプログラムが起動される。配置画面Iにはある一定世代毎にその世代の最良解の配置パターンが表示される。

【0139】ユーザは、その配置パターンを見ながら、必要に応じて遺伝的アルゴリズムの実行及び途中結果の画面表示を一時停止することができる。一時停止は操作画面部W1aの“[停止]”ボタンを押すことによって行われる。図11の配置画面Iは、素子間に隙間が多過ぎると判断し、ユーザが一時停止操作して遺伝的アルゴリズムの実行を停止させたときの配置パターンである。

【0140】図12は、ペア素子とブランチデータの変更方法を説明するものである。

【0141】図12は、配置画面I上でペア素子の指定を変更している様子を示している。まず、操作画面部W1aの“[Modify]”ボタンを押すと、ペア素子修正用の小ウィンドウW1bがポップアップされる。このポップアップされた小ウィンドウ内で、修正したいペア素子番号を指定し、配置画面I上でマウスを用いてペア指定の変更を行う。修正したいペア素子番号を指定すると、そのペア素子内の各素子に×印が付く。

【0142】図12の配置画面Iの例では2番（配置画面のペア素子PFに対応）を指定しているので、ペア素子PF内の各素子に×印が付いている。×印はマウスでクリックすることによって消したり付けたりすることができる。

【0143】図12の配置画面Aの例では、ペア素子PC, PD, PEのペア指定を解除し、新たにペア素子PF, PGを作成している。ペア素子の解除は、そのペア素子番号を指定してから、×印を全て消すことによって行える。新たにペア指定をする場合は、マージの際に左から右へと並べたい順に素子を指定していく。

【0144】指定は対象となる素子をマウスでクリックすることによって行う。例えば、ペア素子PFは4つの素子を横に1列にマージしている。ペア指定された素子群の各素子は、マージの際に一番左に配置される素子

（基本素子）の場所を基準にして、次々とその右側に整列するため、他の素子と一時的に重なるが、遺伝的アルゴリズムを再開した際は、基本素子のy格子座標だけが

使われるので、素子同士が重なることはない。ペア素子のペア指定解除、あるいは新たなペア指定追加を行った場合は、その都度、小ウィンドウW1b上の“[実行]”ボタンを押す。

【0145】これによって配置画面Iや小ウィンドウW1b上のペア素子に関するデータが変更される。ペア指定の修正が全て終わったら、小ウィンドウW1b上の“[保存]”ボタンを押す。これによって、修正されたペア素子のデータが、制約条件ファイル20に書き込まれる。

【0146】図12の回路画面IIは、この回路画面II上でブランチデータの指定を変更している様子を示している。まず回路画面IIの操作画面部W2aにおける“[Modify]”ボタンを押すと、これによってブランチ修正用の小ウィンドウW2bがポップアップされる。このポップアップされた小ウィンドウW2b内で、修正したいブランチ番号を指定し、回路画面II上でマウスを用いてブランチデータの変更を行う。

【0147】具体的に説明すると、今、ブランチ番号（仮にkとする）を指定すると、そのブランチに所属させたい素子群の指定が可能となる。この状態で、ブランチkに所属させたい素子をマウスで指し示し、クリック操作して指示していくとその指示した素子に画面上で×印が付されるようにプログラムが処理するようにしてあり、そのブランチkに所属させたい素子群の指定が可能となる。

【0148】このようにしてブランチkに所属させたい素子をマウスでクリックしていくと、画面上ではクリックされた素子に×印が付される。ブランチkに所属させたい素子を全てクリックしたら、小ウィンドウW2bの“[実行]”ボタンを押す操作をマウスで行う。これによってブランチkのデータが更新される。

【0149】クリックされなかった旧ブランチkの素子群は、新たにブランチk+1の素子群として登録される。それに伴い、旧ブランチk+1以降のブランチ番号は1ずつ繰り下がる。なお、クリックの対象となる素子は、必ずしも旧ブランチkの素子である必要はない。

【0150】図12の回路画面IIの例では、まず、ブランチB0、B1、及びB2の一部を1本のブランチB0としてまとめた後、ブランチB1、B2を1本のブランチとしてまとめるために、その対象となる素子をマウスでクリックしているところである。この後、小ウィンドウW2bにおける“[実行]”ボタンを押す操作をすると、ブランチB1、B2がブランチB1として登録され、それに伴い他のブランチの通番が変更される（図13のII参照）。

【0151】ブランチ指定の修正が全て終わったら、“[保存]”ボタンを押す。これによって、プログラムは、修正されたブランチデータを、配置制約条件ファイル20に書き込み、保存する。この後、図12におい

て、配置画面W1aにある“[続行]”ボタンを押すと遺伝的アルゴリズムの実行（及び途中結果の画面表示）が再開される。

【0152】図13のIは、遺伝的アルゴリズムの再開後、ある一定世代経た後の配置画面である。図11の配置画面Iに表示された配置パターンよりもコンパクトで、且つ、ネット長の短い配置になっていることがわかる。

【0153】図14にもう1つ例を示す。図14(a)は、配置実行の途中過程（途中世代）における1つの配置パターンであり、ユーザが一時停止指示して新世代生成処理を一時停止させたときのものである。図14

(b)は、ペア素子、ブランチデータを修正後、遺伝的アルゴリズムのプログラムを実行（及び途中結果の画面表示）を再開して新世代生成処理を行わせ、得られた配置パターンを示している。この例には、トランジスタだけからなるペア素子に対して、トランジスタ間に抵抗を挿入することによって、ペア素子情報を変更している個所が複数ある。

【0154】ペア素子の指定は本来、回路の性能を高めるために隣接配置する素子群をマージするためのものであるが、この例のように配置実行の途中過程において部分的に良い配置と思われる部分を固めてしまうといった処置を施すためにも用いることができる。

【0155】[配置制約条件入力の方法および装置の具体例]最後に、配置制約条件入力方法および配置制約条件入力装置の具体例を説明する。本発明は、回路図を表示する回路画面と配置結果を表示する配置画面を有する素子配置システムに対するものであるため、便宜上、前記具体例で用いた図の回路図面あるいは配置画面を引用して説明する。配置に関する制約条件には、例えば、前述したブランチやペア素子に関する制約条件がある。

【0156】配置に関する制約条件は、回路図を表示する回路画面上において、素子あるいは複数の素子間を特殊な記号あるいは色で明示する。複数の素子間に上下あるいは左右関係を与える場合は、順序を表す番号あるいは記号も指定する。

【0157】このようにして明示あるいは指定された配置に関する制約条件は、前記素子配置システムの入力データの一部として、例えば、前記具体例の場合は配置制約条件ファイル20に書き込まれる。1素子に対する制約条件を明示する特殊記号としては、三角形枠、逆三角形枠、円形枠、菱形枠、方形枠等の各種記号を用いる方式の他、他の素子とは異なる色を用いるようにしてもよい。

【0158】複数の素子間に対する制約条件を明示する特殊記号としては、各素子を○で表示して○同士を線で接続したり、あるいは同じ色を用いて明示してもよい。例えば、先に述べた具体例における図5あるいは図9の例では、ブランチB1、B2、…は縦の曲線L1、L2、…

2、…でブランチ間を分離することによって、また、ペア素子は素子間を○で接続することによって、また、配置領域の上部に配置するように指定された素子は△で表示することによって、また、配置領域の下部に配置するように指定された素子は逆三角形で表示することによって、それぞれ明示されている。

【0159】他に、図5や図9には存在しないが、配置領域の上部または下部に配置するように指定された素子がある場合は、その素子は菱形枠で明示することができる。前記ブランチの指定は、マウスを用いて同じブランチに属する素子を連続してクリックしてグループ化することによって指定してもよい。また、前記特殊記号の指定は、例えば図15に示すような各素子に付随した画面上から記号を選択してもよい。図15では便宜上、素子をその素子名“A”で代表させて表示している（以下の図16も同様）。複数の素子間に上下あるいは左右関係を与える場合は、それら複数の素子に対する順番や向き等を入力する画面を開いて指定しても良いし、あるいは指定された順番に従って各素子の上をマウスでクリックしながら順番付けを行っても良い。

【0160】例えば、図16は、ペア素子となる素子“A”，“B”を○で囲み、この囲んだ○を弧で接続することによって明示し、接続する線（弧）の上にマウスのカーソルをおき、マウスのボタンをクリックすることによって、そのペア素子に付随した画面を開き（図16（a））、その画面上でマージのタイプを指定する例を示している。

【0161】図16の例は具体的には素子“A”，“B”の順に横方向に並べるよう指定している。この指定により、2素子“A”，“B”は、配置においては図16（b）に示すような1つのマージ素子として扱われる。ペア素子のマージのタイプには、横型の他に、縦型、2段型等がある。2段型の場合には例えば下段、上段それぞれにおける順番を指定することになる。

【0162】前記具体例の途中結果表示部60の配置画面上に途中結果あるいは配置結果が表示されている場合は、その配置画面上で配置に関する制約条件を入力することも可能である。その場合の制約条件入力方法は、回路図上での入力方法と同様である。なお、回路画面上での制約条件の変更と配置画面上での制約条件の変更は互いに連動し、回路画面及び配置画面は常に同じ制約条件を有してもよい。

【0163】以上述べてきたように、本発明の素子配置方法及び装置の具体例では、遺伝的アルゴリズムによる配置の途中過程における1つあるいは複数の配置パターン（途中世代の配置パターン）を、ユーザが配置画面上で実際に目で確かめながら、必要に応じて（ユーザの経験的知識あるいは判断能力により）、遺伝的アルゴリズムの実行及び途中結果の表示を止めて、配置の一部を修正したり部分的に良い配置を固めたり、あるいは配置制

約条件の設定を変更して、再度、遺伝的アルゴリズムを継続実行する。

【0164】従って、遺伝的アルゴリズムによる配置の実行過程においてユーザによる介入が可能となり、更にそのユーザ介入の内容はその後の遺伝的アルゴリズムの実行に徐々に反映（学習／遺伝）されていくので、ユーザの満足度の高い、且つ、質の高い素子配置結果を効率良く求めることが可能となる。素子群のマージは、遺伝的アルゴリズムの探索空間を狭めるため、CPU時間を削減する効果もある。

【0165】本発明の配置制約条件入力方法及び装置の具体例では、配置に関する制約条件を画面上でマウス等を用いて容易に入力することが可能となる。更に、前記要素配置方法及び装置の実施例に追加した場合には、配置制約条件の変更をも容易にする。

【0166】ここで、本実施例で用いたフローチャートに示される実施例に関する動作は、一例であり適宜修正可能である。

【0167】更に、本発明は上述した具体例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。例えば、配置に関する制約条件として、配置格子の本数や格子幅の変更、あるいは配置パターンを評価するための複数の目的関数に対する重みの変更を行うことも可能である。また、途中結果の表示を見ている際に、つかい棒になり、他の素子の移動を邪魔している素子があった場合は、その素子と他の素子との間に重なり許容条件を設けたり、あるいはその邪魔している素子が、もし抵抗やコンデンサであった場合には、複数の抵抗に分割する、あるいはコンデンサの形を変形するなどの、変更を行うことも可能である。

【0168】2素子間に重なり許容条件を設けた場合は、配置に続く配線処理の前処理として、ユーザが重なりを除去してもよい。また、途中結果を表示するタイミングは、世代内の最良解が更新された時にのみ行うように指定することも可能である。

【0169】以上本発明について種々説明したが、要するに本発明は、回路図上の素子の相対的な位置関係や配置に関する制約条件を与えると、回路図上で指定されたこれら配置に関する制約条件を入力データとして素子配置機能により前記回路に含まれる素子の配置座標を決定し、このとき、素子配置機能としては前記入力データを元に素子配置座標決定操作を施す遺伝的アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを用いて素子配置座標決定操作を施すことにより、前記回路に含まれる素子の採り得る配置座標を種々決定し、これを候補の配置パターンとして得ると共に、途中結果表示機能により、前記遺伝的アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによって逐次改善される新世代の候補集合のうちの最良解あるいは上位複数の良好解の配置パターンを、ある一定時間間隔あるいは指走された時間間隔で、画面上に表示すること

途中結果表示するようにし、ユーザはこの途中結果表示を見て、必要により前記途中結果表示の実行及び遺伝的アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行を一時的に停止させ、前記画面上に表示された配置の途中結果の1つまたは複数の配置パターンを見て、素子又は素子群の相対的な配置場所の変更あるいは配置に関する制約条件の設定を配置パターン及び配置制約条件変更機能により変更または確定し、この変更または確定がなされると、素子配置継続機能にて当該変更または確定された部分的な配置場所及び制約条件を反映させ、再度前記遺伝的アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行されるようにしたシステムである。

【0170】途中結果表示機能により、過去に表示した配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の画面を再表示することができるようにしてあり、配置パターン及び配置制約条件変更機能により、前記遺伝的アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる素子配置の実行の一時的な停止の後、前記途中結果表示機能において過去に表示された配置の途中結果あるいはその変更済みの途中結果の画面表示に遡り、前記過去に表示された配置の途中結果、あるいはその変更済みの途中結果の1つ又は複数の配置パターンを見て、前記配置パターン及び配置制約条件変更機能により素子の配置パターンや制約条件の手直しによる変更を加えることができるようにしたこと、そして、この変更を加えると、前記過去の時点から、前記変更内容を反映させ、再度前記遺伝的アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行することができるようにしたことにより、次々に得られる複数の解の配置パターンのうち、より早く最適解に近づくことができる配置パターンに遡って、配置位置や制約条件の変更を人為的に手直し、これを元に新世代の配置パターンとなる解を得ていくことができるようになり、短時間でしかも、確実に最適あるいは近似最適な配置パターンとなる解を得ることができるようになるものである。

【0171】また、本発明においては配置制約条件入力、グラフィックユーザインタフェース機能を用いて、配置に関する制約条件は回路画面あるいは配置画面上に素子間にリンクを張るあるいは特殊記号で明示することによって入力することができるようにしており、回路画面上での制約条件の変更と配置画面上での制約条件の変更は互いに連動し、回路画面及び配置画面は常に同じ制約条件を有するようにした。

【0172】そのため、素子に対する制約条件などの入力操作はポインティングデバイスなどによる画面上の簡単な操作で済ますことができ、操作性が向上する。

【0173】以上、種々の例を説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではなく、種々変形して応用可能である。また、発明の実施の形態に記載した本発明の手法は、コンピュータに実行させることのできるプログラムとして、磁気ディスク（フロッピーディスク、ハ

ードディスクなど）、光ディスク（CD-ROM、DVDなど）、半導体メモリなどの記録媒体に格納して頒布することもできる。

【0174】

【発明の効果】本発明によれば、次のような効果が得られる。本発明に係わる要素配置方法及び装置によれば、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる配置の途中過程における1つあるいは複数の配置パターンを、ユーザが配置画面上で実際に目で確かめながら、必要に応じて（ユーザの経験的知識あるいは判断能力により）、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行及び途中結果の表示を止めて、配置の一部を修正したり、部分的に良い配置を固めたり、あるいは配置制約条件の設定を変更して、再度、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスを継続実行することができる。

【0175】従って、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる配置の実行過程においてユーザによる介入が可能となり、更にそのユーザ介入の内容はその後のアルゴリズム乃至ヒューリスティックスの実行に徐々に反映（学習／遺伝）されていくので、ユーザの満足度のより高い、且つ、より質の高い素子配置結果を効率良く求めることが可能となる。

【0176】特に、アナログLSI等、評価関数あるいは制約条件を陽に記述できないタイプの問題に対して、アルゴリズム乃至ヒューリスティックスによる探索と、人間が得意とするパターン評価を効果的に統合することが可能となる。

【0177】本発明に係わる配置制約条件入力方法及び装置によれば、配置に関する制約条件を画面上でマウス等を用いて入力し、必要に応じてそれらの制約条件を容易に変更することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係わる本発明を説明するための図であって、本発明の具体例に関わるLSI素子配置装置（LSI要素配置装置）の構成を示すブロック図。

【図2】本発明を説明するための図であって、本発明の具体例に関わるLSI素子配置装置（LSI要素配置装置）の動作を示すフローチャート。

【図3】図2のより詳細な処理内容を示したフローチャート。

【図4】本発明を説明するための図であって、解候補の染色体表現とそれに対応する配置パターンを説明するための図。

【図5】本発明を説明するための図であって、本発明システムにおける回路図表示部50の回路画面に表示された回路図の例を示す図。

【図6】本発明を説明するための図であって、本発明システムにおける途中結果表示部60の一配置画面に表示された配置結果の例を示す図。

【図7】本発明を説明するための図であって、本発明シ

システムにおける途中結果表示部 60 の一配置画面に表示された配置結果 (図 6) において、ネットの表示を削除し、ブランチ情報を表示した場合の例を示す図。

【図 8】本発明を説明するための図であって、本発明システムにおける回路画面と複数の配置画面を計算機のディスプレイ上に表示した例を示す図。

【図 9】本発明を説明するための図であって、図 8 の回路画面及び配置図面の上で配置に関する制約条件を変更した後の回路画面例を示す図。

【図 10】本発明を説明するための図であって、図 8 の回路画面上でブランチをまとめ、図 8 の配置画面上で、素子の制約条件の指定変更を行った後の回路画面例を示す図。

【図 11】本発明を説明するための図であって、本発明システムの使用例を説明するための図。

【図 12】本発明を説明するための図であって、本発明システムの使用例を説明するための図。

【図 13】本発明を説明するための図であって、本発明システムの使用例を説明するための図。

【図 14】本発明を説明するための図であって、本発明システムの使用例を説明するための図。

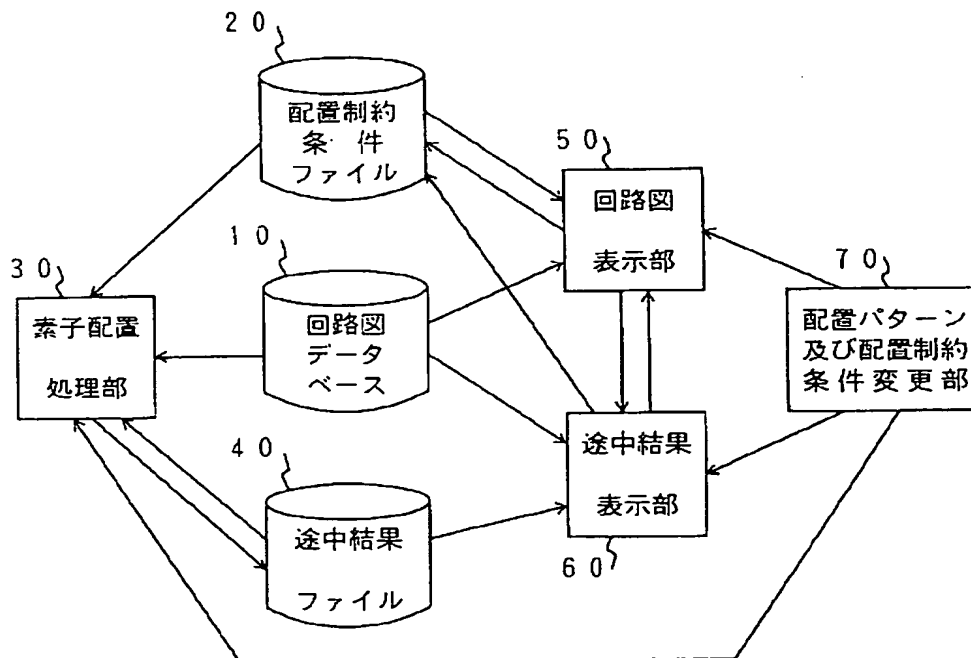
【図 15】本発明システムの使用例を説明するための図であって、各素子に対する配置制約条件を入力する画面を説明するための図。

【図 16】本発明システムの使用例を説明するための図であって、ペア素子のタイプと順序を入力する画面を説明するための図。

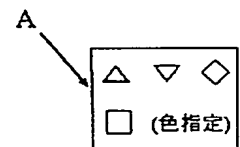
【符号の説明】

- 10…回路図データベース
- 20…配置制約条件ファイル
- 30…素子配置処理部
- 40…途中結果ファイル
- 50…回路図表示部
- 60…途中結果表示部
- 70…配置パターン及び配置制約条件変更部
- B1, B2, B3, ……ブランチ
- L1, L2, L3, ……ブランチを分ける曲線
- Q1, Q2, ……素子。

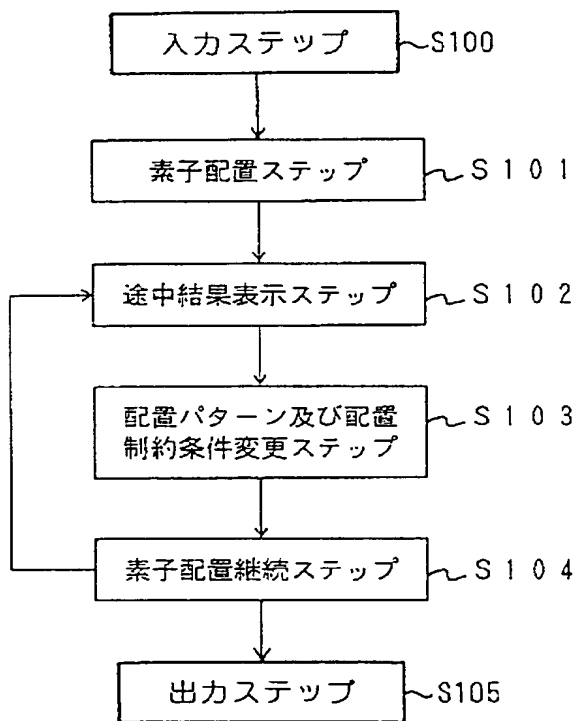
【図 1】



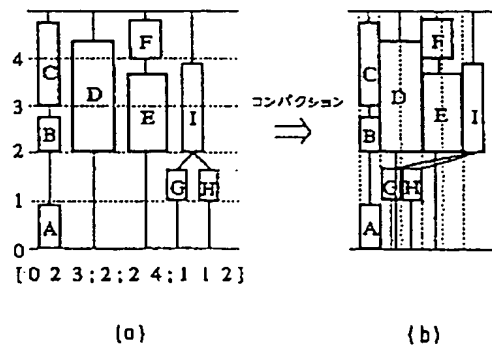
【図 15】



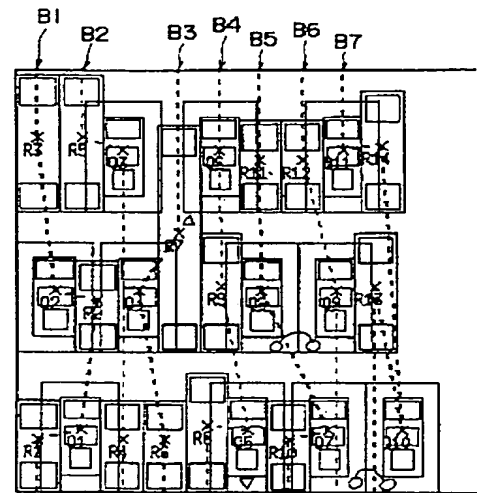
【図2】



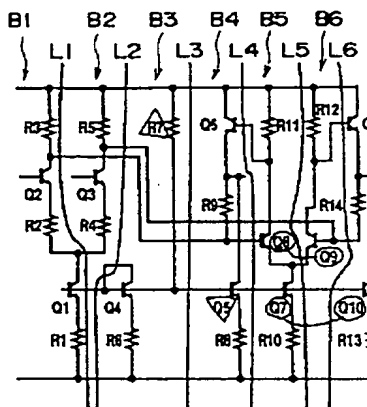
【図4】



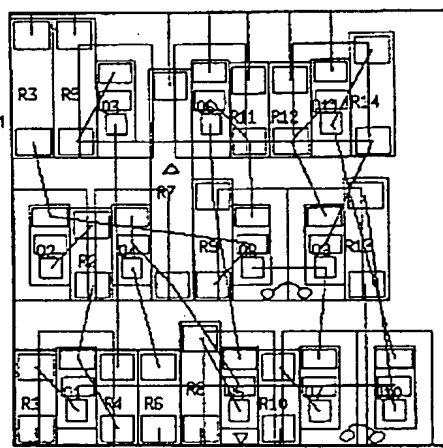
【図7】



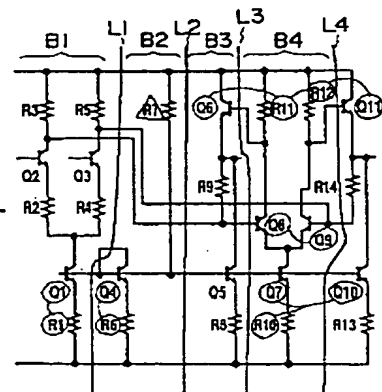
【図5】



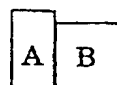
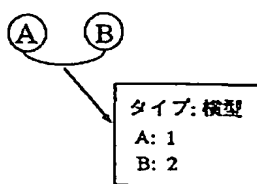
【図6】



【図9】



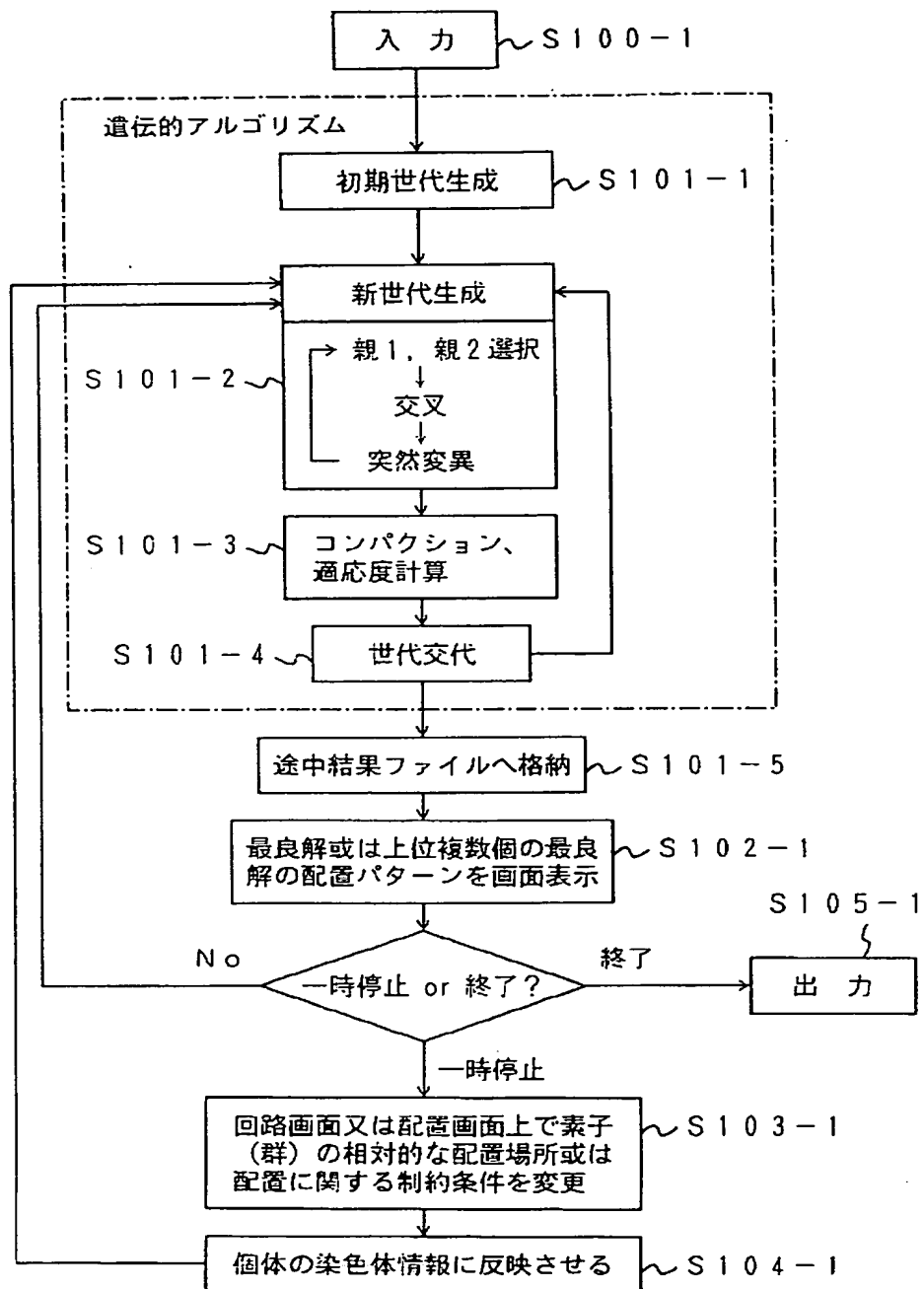
【図16】



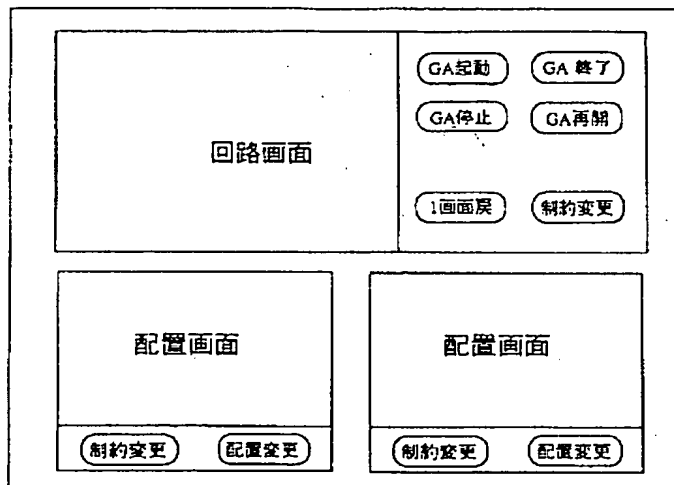
(b)

(a)

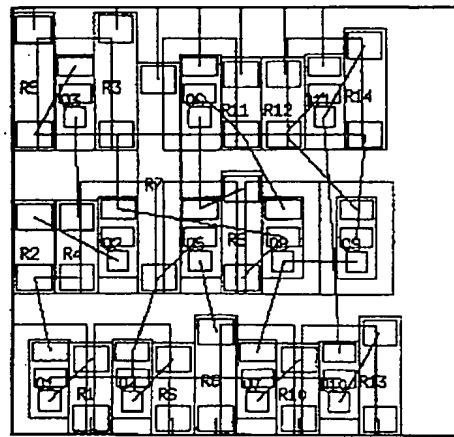
【図3】



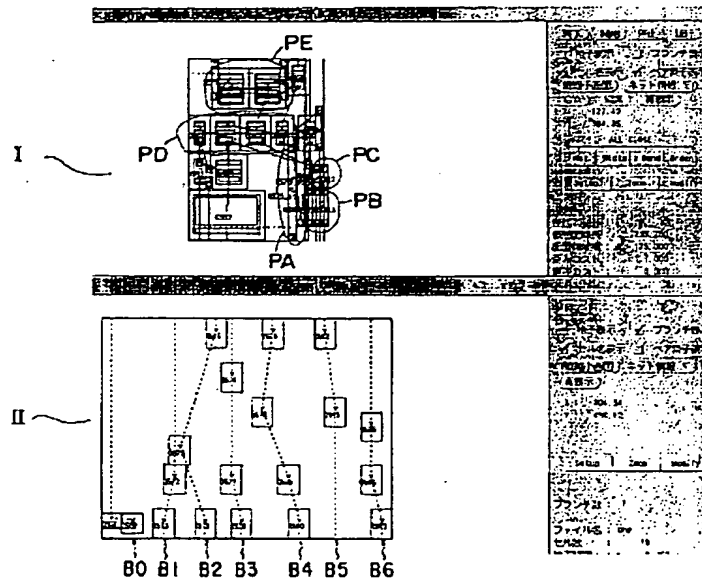
【図8】



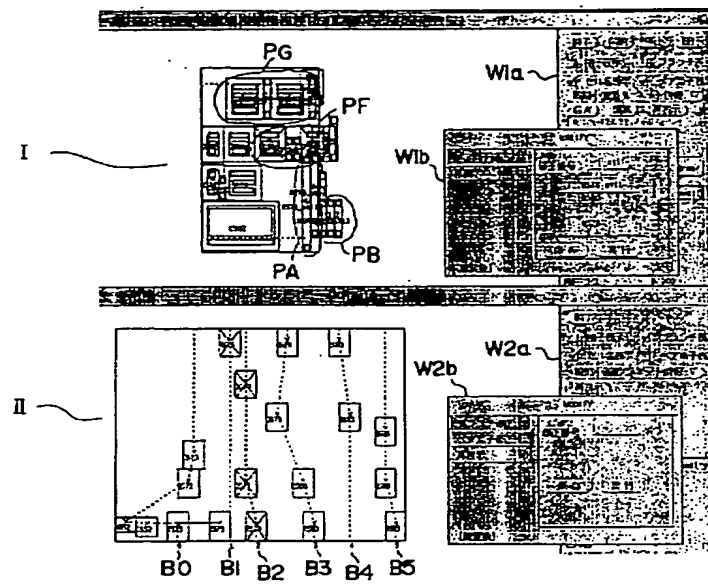
【図10】



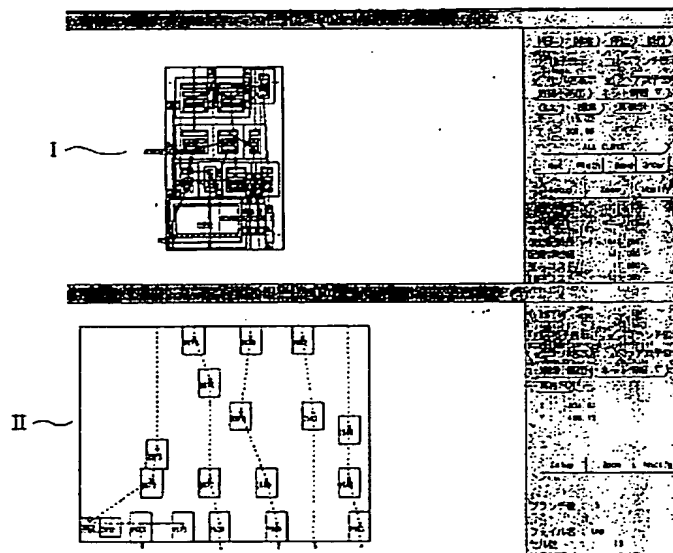
【図11】



【図 12】

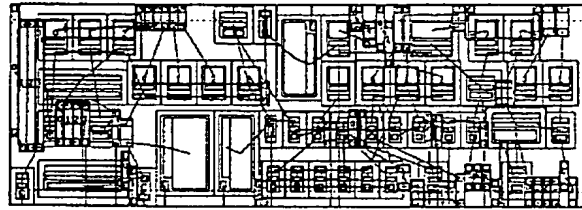


【図 13】



【図 14】

(a)



(b)

